

論	文
Articles	

ラインサンプリングによる 林分形状比の推定法

佐藤孝吉*・箕輪光博**

(平成 20 年 6 月 17 日受付/平成 20 年 10 月 24 日受理)

要約：林分形状比は樹幹形状を示し、風雪害の予防や生産される素材の形状と関連する間伐の必要性を判断する指標の 1 つである。わが国の森林管理は、公益的機能の発揮を重視し、長伐期傾向にあり、間伐は重要な作業の 1 つである。そこで、林分形状比を迅速に測定し、簡単に森林の状態を診断できる方法としてプロットレスサンプリング法に注目した。プロットレスサンプリング法は、ポイントサンプリングとラインサンプリングに分けることができる。ポイントサンプリングでは、樹幹の直径あるいは樹高を半径とした面積からカウント数を計算したために、林分形状比式が複雑となった。本論文では、林分の直径および樹高の総和を算出するラインサンプリングに注目した。その結果、水平方向のカウント数期待値 (Sh) と垂直方向のカウント数期待値 (Sv) の比を活用した林分形状比推定式を提案し、その方法の特徴を確認した。

キーワード：プロットレスサンプリング法、ラインサンプリング、ストランド法、林分形状比、森林評価

1. はじめに

わが国における森林管理の指針の中で、間伐による本数調整は重要な位置づけにある。その背景には、長伐期傾向にある人工林齢級配置、急峻な地形など自然条件を背景にした公益的機能発揮の必要性、材価低迷と労働賃金高騰など社会条件による再生林の困難な状態があげられる。森林・林業基本計画に基づく間伐基準は、密度管理図における収量比数 (Ry) が指標として使用されている。形状比は、直径 (cm) に対する樹高 (m) の百分率¹⁾であり、間伐に関する森林の状態を現場で確認できる方法として活用されてきた。密度管理図による収量比数が、自然間引線を中心とした林分の環境保全的な指標を基準²⁾としているのに対し、形状比は完満、梢殺など素材の形状や風雪被害の可能性など木材生産の視点も考慮されている。

林分形状比は、毎木あるいは標準地や標準木の直径および樹高を測定し、その比率から算出することが基本であり、大面積を対象とする場合は時間と労力が必要である。そこで、林分形状比をすばやく把握する方法として、間接測定方法であるプロットレスサンプリング法に注目した。プロットレスサンプリング法は、ビッターリッヒ法による胸高断面面積の測定方法から、ストランドによるラインサンプリングや平田による定角測高法、北村、箕輪、上野による林分材積推定法へと展開してきた³⁾。

佐藤らは、ポイントサンプリングであるビッターリッヒ法と平田法を組み合わせることによって林分形状比を求める推定式を提案した。ポイントサンプリングによる林分形状比の推定式の特徴は、胸高直径あるいは樹高の拡大円を

活用し、その中に測定地点が入るかどうかのカウント数により計算される。林分形状比は、それぞれの直径と樹高を二乗した値を平方根にして求める⁴⁾。その場合、直径や樹高に違いが大きい場合は、変動係数による誤差を生じるために、異齢林、複層状態の林分や天然林等においては適応しにくい。また、ポイントサンプリングは、林縁での測定が困難なこと、立木内部に点が落とせないこと、視準不可能木が存在すること、傾斜面における測定面積の補正が必要なこと、樹幹が楕円形な場合に対応できないなどが問題点としてあげられている⁵⁾。

本論文では、上記の問題点を考慮に入れながら、林分形状比の計測をラインサンプリング法によって行うことを試案し、その手法について検討することを目的とした。

ラインサンプリングに注目した理由は、ポイントサンプリングでは、直径あるいは樹高の 2 乗を求められるのに対して、形状比は直径あるいは樹高がそのまま求められるので、形状比への適用が容易と考えたからである。

2. ラインサンプリングとその展開

(1) ストランド法の説明

ラインサンプリングは、1947 年にビッターリッヒ法が発表された約 10 年後 (1957 年) に、ストランド (STRAND) により提案された方法である⁶⁾。林内にランダムラインを引き、ラインの線上を移動しながら一方向の樹木の直径および樹高を視準し、それぞれ一定視角からはみ出る本数を数えることによって林分材積を求める方法である。

ストランド法は、通常次の手法で行われる⁷⁾ (図 1)。第 1 に、定長 5π ($=15.7$ m) の直線を林内にランダムで落と

* 東京農業大学地域環境科学部森林総合科学科

** 大日本山会

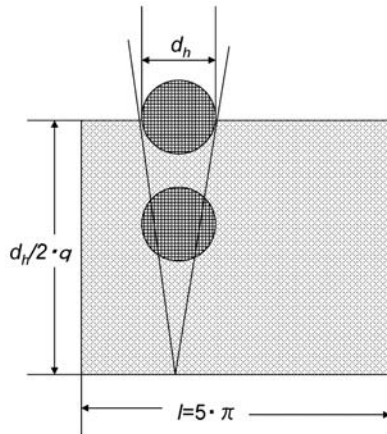


図 1 ストランド法のイメージ (直径方向)

す。この直線上にたつて $\tan(\alpha/2) = 1/100$ または $\sin(\alpha/2) = 1/100$ ($k=4$ の場合は $\sin(\alpha/2) = 1/50$)、すなわちピッターリッヒ法における $k=1$ となるスリットでラインの片面にある立木を視準する。カウントされた木の胸高直径 (d_{hi}) をセンチ単位で読む。カウントされた木は、ライン ($l=5\pi$) を一辺とし、直径方向の拡大円の半径 ($d_{hi}/2 \cdot q : q$ は拡大倍率) を一辺とした長方形内に存在する立木である。したがって、測定した直径 (d_{hi}) の断面積 (g_{hi}) から単位面積 (T) あたりの断面積合計 (G : 単位は m) が求められる (ただし n はカウント数)。

$$G = \frac{\sum_{i=1}^n g_{hi}}{T} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{d_{hi}}{2} \right)^2 \cdot \pi}{\frac{d_{hi} \cdot q}{2} \cdot l} = \frac{\sum_{i=1}^n d_{hi}^2 \cdot \pi \cdot 2}{d_{hi} \cdot q \cdot l \cdot 4}$$

ここで $l=5\pi$, $q=100$ ($k=1$) とすると

$$G = \frac{\sum_{i=1}^n d_{hi}^2 \cdot \pi \cdot 2}{d_{hi} \cdot 100 \cdot 5 \cdot \pi \cdot 4} = \frac{1}{1,000} \sum_{i=1}^n d_{hi}$$

d_{hi} をセンチメートルからメートル単位へと変換すると

$$G = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^n d_{hi} \quad (1)$$

となる。

第2に、同じ線上で同じ面に対し、今度は定仰角 $\beta = 63^\circ 26'$ ($\tan\beta = 2$ あるいは $\cot\beta = 1/2$) で樹高を視準する。カウントされた木の胸高直径をセンチ単位で読む (これを d_{vi}) とする。カウントされた木は、図2のようにライン ($l=5\pi$) を一辺とし、樹高の拡大円の半径 ($h \cdot \cot\beta$) を一辺とした長方形内に存在する立木である。したがって、測定した直径 (d_{vi}) の断面積 (g_{vi}) から単位面積 (T) あたりの胸高断面積を底面とし樹高を高さとした円柱体積の合計 (Gh : 単位 m) が求められる。

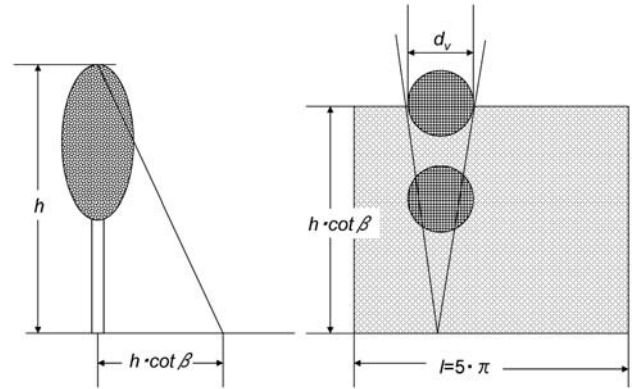


図 2 ストランド法のイメージ (樹高方向)

$$Gh = \frac{\sum_{i=1}^n g_{vi} \cdot h}{T} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{d_{vi}}{2} \right)^2 \cdot \pi \cdot h}{h \cdot \cot\beta \cdot l} \quad \cot\beta = 1/2, \quad l = 5\pi \text{ を導入すると}$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^n d_{vi}^2 \cdot \pi \cdot h \cdot 2}{h \cdot 5 \cdot \pi \cdot 4} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^n d_{vi}^2 \quad (2)$$

となる。

ただし、林分材積 V を求めるには、胸高形数 (f) を乗じる必要がある。

$$V = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^n d_{vi}^2 \cdot f$$

(1) および(2)式の比を hs とすれば、LOREY の平均樹高⁸⁾ が求められる。

$$hs = \frac{\frac{1}{10} \sum_{i=1}^n d_{vi}^2}{\frac{1}{10} \sum_{i=1}^n d_{hi}} = \frac{\sum_{i=1}^n d_{vi}^2}{\sum_{i=1}^n d_{hi}}$$

(2) ストランド法の展開

大友⁹⁾ は、ストランド法のサンプリングに工夫を施した方法 (L1 法) や線上からレラスコープを活用し、平均直径、 ha あたり断面積、直径階別本数の推定などを行う方法 (L2 法) へと展開している。また、測定精度を勘案した断面積定数やライン長の研究¹⁰⁾ では、直径方向の断面積定数 (k) は、幼齢林、天然林 (小) では $k=2$ 、ライン長は 10 m、中齢林 (15 年生まで) では 15 m のライン長で $k=2 \sim 4$ 、壮齢林、老齢林では 20 m のライン長で $k=4$ としている。したがって、間伐必要性の判断は、林齢から判断すると、ライン長が 20 m, $k=4$ が適当である。

ピッターリッヒ法が胸高断面積を算出するのに対して、ラインサンプリングは、胸高断面積の他、平均樹高や材積

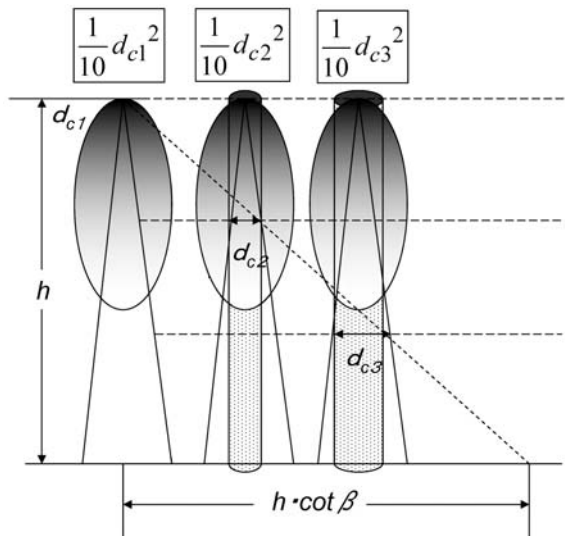


図 3 算輪法のイメージ (体積計算)

が求められる点の特徴であるが、実用化されにくいのはカウントされた樹木の直径を測定するために、ライン上から立木まで移動しなければならないからである。そして、ストランド法は、ビッターリッヒ法に比べ活用されている例が少ない。その欠点を克服したのが次の紹介する算輪法である。

(3) 算輪法の説明

ストランド法にならって、ライン上における一定仰角 β でラインの片面のみの立木全体を視準するものとする。図 3 のようにいま、立木のある高さで視準線が当たったとする。この当たった高さを切断高、その位置の直径を切断径と呼ぶ。いま、任意の立木の切断径を d_{ci} とする。ストランド法の樹高方向と同様に、切断径を直径とする円柱の体積を積み重ねることによって材積が計算される。この d_{ci} は、0 の場合もある。 $l=5\pi$, $\tan\beta=2$ (または $\cot\beta=1/2$)、上部切断径 (d_{ci}) をセンチ読みすれば h_a あたりの林分材積は、次の式で算出される。

$$V = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^n d_{ci}^2$$

算輪法はストランド法の計算式と同じであるが、一度の測定で材積が求められる点と、ストランド法の直径測定が、算輪法では切断径をレラスコープや目測により測定する点にある。算輪法の理論を活用し、切断径の測定の正確さを高めるために、地上レーザスキャナを用いた手法も検討されている¹¹⁾。

3. 林分形状比の算出方法

(1) カウント数の期待値と形状比

ポイントサンプリング法では、直径 (ビッターリッヒ法)、樹高 (平田法) の拡大円内でカウントされる本数から林分形状比を推定する方法を提案した。そこで、同様の手法をライン上で使用することにより林分形状比を求めることを検討した。つまり、林内にランダムで落としたラインを一

辺として、拡大・縮小された直径あるいは樹木によって、カウント数の期待値が求められる。林分形状比を求めるために、直径および樹高のカウント数の期待値から判断することにする。

(2) 垂直方向のカウント数

ストランド法による垂直方向のカウント数の期待値 (S_v) は、長さ (l) と $h_i \cdot \cot\beta$ に囲まれた樹木 n 本がカウントされるので、単位面積 (T) あたりの期待値は、次の式で求められる。

$$S_v = \frac{\sum_{i=1}^n h_i \cdot \cot\beta \cdot l}{T}$$

したがって、樹高の総和 (H) は、

$$H = \sum_{i=1}^n h_i = \frac{T}{\cot\beta \cdot l} \cdot S_v \quad (3)$$

で求めることができる。

(3) 水平方向のカウント数

ストランド法による水平方向のカウント数の期待値 (S_h) は、長さ (l) と $(d_{hi}/2) \cdot q$ に囲まれた n 本の樹木がカウントされる。したがって単位面積 (T) あたりの期待値は、次の式で求められる。

$$S_h = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{d_{hi}}{2} \cdot q \cdot l}{T} = \frac{\sum_{i=1}^n d_{hi} \cdot q \cdot l}{T \cdot 2}$$

したがって、直径の総和 D は、

$$D = \sum_{i=1}^n d_{hi} = \frac{T \cdot 2}{q \cdot l} \cdot S_h \quad (4)$$

で求めることができる。

(4) 林分形状比を求める

林分形状比は平均直径 (cm) に対する平均樹高 (m) の百分率であり、直径および樹高の総和の比から求めると、

$$\frac{H}{D} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{\sum_{i=1}^n d_{hi}} \cdot 100 \quad (5)$$

である。そこで、(3) および (4) 式を (5) 式に代入すると、

$$\begin{aligned} \frac{H}{D} &= \frac{\frac{T}{\cot\beta \cdot l} \cdot S_v}{\frac{T \cdot 2}{q \cdot l} \cdot S_h} \\ &= \frac{q}{2 \cdot \cot\beta} \cdot \frac{S_v}{S_h} \cdot 100 \end{aligned}$$

となる。

ここで $\cot\beta=1/2$ および $q=50$ ($k=4$) を代入すると

$$\frac{H}{D} = 50 \cdot \frac{S_h}{S_v} \cdot 100$$

ここで直径 (d_{vi}) を cm 単位とすると

$$\frac{H}{D} = \frac{1}{2} \cdot \frac{S_h}{S_v} \cdot 100 \quad (6)$$

総和が求められたため、変動係数を考慮せずに形状比を求められることが分かった。

注および引用文献

- 1) 丸善, 2001, 森林・林業百科事典, 239p.
- 2) 全国森林技術協会, 2005, 森林施業計画ガイドブック, 19p.
- 3) プロットレスサンプリング法の展開を紹介した文献は, 大友栄松, 1971, 林試研報, No. 241, 31-164. 南雲秀次郎・箕輪光博, 1990, 現代林学講義 10 測樹学, 地球社 101-119. 上野洋二郎, 1993, 早くて容易な森林調査法の発展, 森林科学第 9 号, 39-50. などがある。
- 4) 佐藤孝吉・戸田公作・箕輪光博, 2008, プロットレスサンプリング法による森林評価の可能性—ポイントサンプリング法による林分形状比の算出—, 東京農業大学農学集報, 53 (3), 213-218.
- 5) 定角測定法の問題点については, 南雲秀次郎, 箕輪光博, 前掲書, 大隅眞一, 1987, 森林計測学講義を参考にした。
- 6) STRAND, L. 1957. Determination of height and volume by relascope. in Walter Bitterlich 1984. "The relascope idea, relative measurements in forestry, Commonwealth agricultural bureaux, 43-46.
- 7) 南雲秀次郎・箕輪光博, 前掲書, 110-112.
- 8) 大隅眞一, 1987, 前掲書, 181-184.
- 9) 大友栄松, 1971, 林試研報, No. 241, 75-98.
- 10) 西沢正久, 1972, 森林測定 農林出版, 204.
- 11) 米康 充, 小熊宏之, 地上レーザスキャナを用いた森林計測手法の検討, 2004, 第 115 回日林学術講, 184.

Estimation of Forest Stand Height-diameter Ratio by Line Sampling

By

Takayoshi SATO* and Mitsuhiro MINOWA**

(Received June 17, 2008/Accepted October 24, 2008)

Summary : Forest stand height-diameter ratio is one of the indicators of strength against wind and snow disaster, which is related to thinning implementation. Significance of thinning in Japan could be emphasized due to priority of public functions, and tendency of longer harvest period. Plot-less sampling was characterized by fast survey and easy diagnoses of forest stands. Plot-less sampling could be classified into point-sampling and line-sampling. The formula of point-sampling was complex because it calculates the area of enlarged diameter at breast height and tree height. So this paper tried to apply line-sampling to forest stand height-diameter ratio which calculates the sum total of diameter at breast height and tree height. The results found that forest stand height-diameter ratio could be estimated by means of comparative tree height and diameter at breast height.

Key words : Plot-less sampling, Line sampling, Strand method, Forest stand height-diameter ratio, Forest evaluation

* Department of Forest Science, Faculty of Regional Environment Science, Tokyo University of Agriculture

** The Japan Forestry Association